物性研究小解説

一次相転移における動的スケーリング則

京大・教養・物理　冨　田　博　之

合金や混合溶液など一次相転移を起こす系において，熱平衡から遠く離れた熱力学的に不安定な状態（急冷された一様相）から平衡状態（分離相）へ緩和する過程でみられる時間的な相似則のことをいう。臨界点近傍におけるいわゆる動的スケーリング則とは，非線型緩和という点では共通しているが，とらえている現象が異なる。

二相分離の一方：少数派の領域に注目すれば，相分離の進展はクラスター（あるいはドロップレット）の成長として現れる。クラスターの成長の様子は秩序変数の空間的相関関数，したがって実験ではX線回折・中性子回折によって観測できる。秩序変数が保存される系では，有限波数で散乱関数に著しいピークが現れ，クラスターの成長とともにこれが波数の小さい方へ移っていき，平衡状態のブラッグ・ピークに漸近する。このピークの波数$k_{\mathrm{max}}(t)$はクラスターの代表的な大きさ（の逆数）と考えられるが，初期の研究ではこれが，非線型性を反映した時間tのベキ法則

$$k_{\mathrm{max}}(t) \sim t^{-a}$$

に従い，例えば合金のような固体では$a = 1/5 \sim 1/6$，液体では1/3と，分数ベキになることが注目された。最近では詳しい実験データが得られるようになって，さらに散乱関数の形そのものが

$$S(q,\ t) = R(t)^{d} F\bigl(R(t)\,q\bigr)$$

のような相似則に従うことがわかってきた。ここでdは系の次元であり，上で述べたk_{max}のかわりに特性的な長さ$R(t)$を用いた。このような意味での相似則が成り立つためには，系を特徴づける長さは唯一でなければならない。

組成比ϕが小さい場合は球形の液滴モデルが妥当である。この場合，特徴的長さには

1）界面の厚さ（～秩序変数の相関距離）

2）液滴の平均的半径：$R(t)$

3）液滴間の相関距離

が挙げられるが，１）はミクロな長さであって相分離が少し進展した段階では問題にならない。３）は，液滴の平均的体積 $\bar{V}$ と分布密度 n の間に

$$n\bar{V} = \text{一定} = \phi$$

の関係があることを考慮すれば，$R(t)$ でスケールされるが，組成比 ϕ に依存することが予想できよう。したがって液滴の半径についての分布が，平均半径でスケールした時にあまり変化しないならば，散乱関数は上記のような相似則に従うが，スケール関数 $F(Q)$ の形は ϕ に依存するのが普通である，といえる。

組成比がある程度大きい系では，クラスターの形は不規則になり，たとえ滑らかな界面を持っているとしても，もう一つの特性長さとして平均的曲率半径が重要になる。この場合，クラスターが成長する過程と表面が滑らかになる過程とは別ものと考えられる。したがって特徴的長さ（波数）やスケール関数の形は，始めから終りまで単独の法則に従うのではなく，両過程のかねあいにより途中でクロスオーバーが起ることも予想できよう。

これ等の現象は，時間に依存した Ginzburg-Landau（TDGL）方程式の中途はんぱな非線型理論よりも，液滴モデルのような現象論の方が的確に説明できる。非線型性の主な効果として界面の形成を第０近似としてとり入れているからである。この観点から最近この問題に対して，ランダムな界面系のパターン動力学から解明する方向が出てきていることは興味深い。もう少し詳しい解説は以下を参照。

好村滋洋，物理学会誌 40 巻 1 号 (1985)， 42
川崎恭治，物性研究　43 巻 5 号 (1985)， 181